

# 탄소배출 최소화를 위한 스마트팜 시스템의 개발

유남현\*

Development of Smart Farm System for Minimizing Carbon Emissions

Nam-Hyun Yoo\*

요 약

2015년 1월에 체결된 파리기후협약은 기존의 교토의정서를 대체할 새로운 규약으로서 탄소배출을 최소화하기 위하여 새로운 변화를 요구하고 있다. 특히, 농업 부문은 국가 에너지 소비량의 1.8%에 불과하지만, 농산물 생산 비에서 에너지가 차지하는 비중이 매우 높은 편이다. 이를 해결하기 위하여 에너지 절감 시설과 함께 화석 연료를 대체할 수 있는 신재생 에너지가 개발 및 보급되고 있으나, 이에 대한 보급률이 높지 않은 편이며, 외산 제품이 주를 이루고 있다. 이에 본 논문에서는 해외 제품이 대부분인 스마트 팜을 국내 환경에 적합한 환경 분석을 통하여 국내 환경에 적합하게 개발하고, 이 시설을 활용하는 경우 에너지 절감 효과를 보여줄 수 있는 실험을 실시하였다.

ABSTRACT

Paris Agreement signed in January 2015 is a new rule that will replace the existing Kyoto Protocol. The new agreement needs new demands and challenges to minimize carbon emissions. Especially, even though agricultural sector occupies only 1.8% in the national energy consumption, the portion of the energy being occupied in agricultural production costs very high. Although renewable energy and energy-saving facilities is being developed and disseminated for replacing fossil fuel energy and saving energy, the installation-rate is not enough high. Thus, this paper developed Korean-style smart farm system, and carried out the experiment to show the performance of energy savings through analyzing proper environment in domestic situation.

키워드

Energy Saving, Renewable Energy, Smart Farms, Monitoring and Controlling System  
에너지 절감, 신재생 에너지, 스마트팜, 모니터링 제어 시스템

## 1. 서 론

농업분야에서 각종 ICT (Information & Communication Technology) 기술을 적용하여 노동력을 절감하고, 적절한 생육환경을 자동으로 제공함으로써 생산량을 증가시키기 위한 다양한 연구들이 진행

되어 왔다[1-3]. 그러나 2015년 1월에 체결된 파리기후협약은 기존의 교토의정서를 대체할 새로운 규약으로서 탄소배출을 최소화하기 위하여 모든 분야에서 새로운 변화를 요구하고 있다. 특히, 농업 부문은 국가 에너지 소비량의 1.8%에 불과하지만, 농산물 생산 비에서 에너지가 차지하는 비중이 매우 높은 편이다.

\* 경남대학교 조선해양T공학과 (hyun43@kyungnam.ac.kr) • Received : Oct. 19, 2016, Revised : Dec. 13, 2016, Accepted : Dec. 24, 2016  
• 접수일 : 2016. 10. 19  
• 수정완료일 : 2016. 12. 13  
• 게재확정일 : 2016. 12. 24  
Dept. Naval Architecture, Ocean, and IT Engineering, KyungNam University  
Email : hyun43@kyungnam.ac.kr

특히, 기후 변화로 인한 시설원에 확대와 자동화 등으로 인하여 에너지 투입이 증가되고 있는 실정이다. 게다가 고온성 작물의 경우 최근 몇 년 사이에 에너지 사용 비중이 크게 증가하고 있어 에너지 절감과 동시에 탄소 배출을 최소화할 수 있는 방안이 요구되고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위하여 에너지 절감 시설과 함께 화석 연료를 대체할 수 있는 신재생에너지가 개발 및 보급되고 있으나, 이에 대한 보급률이 높지 않은 편이다. 또한 에너지를 절약하는 스마트 팜 관리 시스템은 해외 연구가 더 활발하며, 이를 기반으로 개발된 상용화 제품이 시장을 차지하고 있다[4-6].

이에 본 논문에서는 국내 환경에 적합한 환경 분석을 통하여 국내 환경에 적합하게 요구사항을 도출한 후, 이를 기반으로 신재생 에너지 분석 장비, 에너지 사용량 분석 시스템, 에너지 사용량 진단 시스템, 통계 분석 시스템, 농가별 최적 에너지 조합 추천 시스템 등의 기능을 가지는 에너지 믹스 하이브리드 소형 복합 스마트팜 시스템을 개발하였으며, 이 시스템을 활용하는 경우 에너지 절감 효과를 보여줄 수 있는 실험을 실시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제한한 스마트팜 시스템을 설계 및 구현하였으며, 3장에서는 이 시스템을 사용함으로써 발생할 수 있는 에너지 절감 효과를 실험으로 증명하였다.

## II. 스마트팜 시스템의 설계 및 개발

본 논문에서 개발하기 위한 스마트팜 시스템을 설치 및 실험하기 위하여 S시에 있는 망고 농장을 선정하였으며, 성능 비교를 위하여 동일한 지역에 위치한 망고 농장을 선정하였다. 망고 농장을 테스트 베드로 선정한 이유는 망고가 열대성 과일로써 적절한 생육 환경을 공급하기 위해서는 지속적인 온풍기의 사용이 요구되고, 이는 에너지 사용량이 많기 때문이다. 테스트 베드 면적은 약 1965m<sup>2</sup>이며, 2·3년생 망고나무 170주가 재배되고 있으며, 재배 환경은 지하공 열교환식 히트펌프를 이용하여 난방하고 있다. 테스트베드와 성능비교를 위해서 선정된 비교 농가는 동일 지역 내의 같은 작물을 재배하는 농가로써 면적은 약 2,029m<sup>2</sup>이며, 15~20년령의 131주의 망고나무가 식재되어 있다.

재배 환경은 경유 온풍기 2개를 사용하고 있다.

### 2.1 테스트베드를 위한 총 에너지량 산출

실증농가의 필요 에너지량의 산출을 위하여 유사한 규모를 가지는 비교 농가의 전년 에너지 사용량을 조사하였으며, 동절기 최대 난방부하 시기를 고려하였다. 또한, 지하공의 이산화탄소 활용에 따른 습기 문제를 해결할 수 있는 제습운전이 가능한 형태의 12RT급 히트 펌프를 설치하도록 하였다. 추가로 실험동에 태풍 등 비상 상황에 배풍이 가능하도록 배풍기 6대를 증설하고, 온실 내 기본 난방을 위한 팬 코일 유닛 13기를 이전 설치 및 이산화탄소 공급설비를 추가 설치하였다. 이렇게 설치된 장비의 전력사용량을 합산한 결과 히트펌프 10kw, 팬코일 유닛 13기(0.5×13)기로 6.5kw, 지하공 이산화탄소 공급 설비 2kw, 배풍팬 6개(1kw×6) 6kw로, 총 24.5kw의 추가 전력이 필요한 것으로 예상되었다. 거시 기상 데이터를 활용한 시스템을 실행하여 해당 지역의 신재생 에너지 시스템의 종류와 필요 용량을 산정하였다. 테스트 베드의 경우 비닐온실 자체가 태양에너지 이용 시설이어서 온실 지붕면을 활용할 수 없기 때문에 온실 주변의 활용 가능한 유휴 공간과 설치 가능 장소를 복합적으로 고려한 후, 해당 농가의 창고, 기숙 공간, 열교환실 등의 유휴공간을 활용하여 최대 전력량의 12%수준인 3kw급인 태양광발전 설비를 시설하여 전력으로 사용하였으며, 소형풍력발전기의 경우에는 주변 농가의 소음 피해로 설치할 수가 없었다.

### 2.2 적정 규모의 신재생에너지 산출량 시뮬레이션 시스템

농장을 운영하는데 필요한 총 에너지 용량이 산출되면, 적정 규모의 신재생 에너지 종류와 사용량을 산출하기 위해서는 해당 지역 농가의 미세 지역 환경 데이터의 수집이 우선되어야 한다. 이에 본 논문에서는 대상 지역의 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량 등의 미세 환경 데이터를 수집 및 DB에 저장하고, 저장된 데이터를 분석 및 통계처리를 실시한 후, 광역 단위의 정보를 비교 분석하여 생산 가능한 신재생 에너지 종류와 생산 가능량을 도출하는 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 이 시스템을 사용하면 신재생 에너지 믹스 최적화 시스템을 예측할 수 있다.

### 2.3 에너지 생산 및 소비 분석 시스템

농가별 신재생 에너지 생산량을 산출하는 것은 2.2 절에서 제안한 방법을 활용하면 사용할 신재생에너지 시스템의 예상 에너지 생산량을 산출할 수 있다. 이와 같이 생산량이 결정되면, 이에 대한 해당 농가의 에너지 예상 소비량을 측정해야 한다. 에너지 예상 소비량을 측정하기 위해서 입력되어야 할 기본 정보는 지역, 생산품목, 면적, 시설규격, 시설크기, 열교환표면적, 열절감율, 난방부하계수 및 재배 적정온도이다. 또한, 월별 평균온도, 최고기온, 최저기온, 평균풍속 및 일사량 등의 기상 정보가 필요하다.

에너지 소비량을 예측하기 위한 냉난방부하 산정은 식 (1), 공식과 최대난방 부하량을 산출은 식(2)와 같다.

$$DH = 24(T_i - T_m) - S \left( \frac{T_i - (T_h + T_m)}{2} \right) \quad (1)$$

$$q_g = A_g U (T_{in} - T_{out})(1 - f_r) \quad (2)$$

$q_g$ : 최대 난방 부하(kcal/hr)  
 $A_g$ : 온실의 표면적( $m^2$ )  
 $U$ : 난방 부하계수(kcal/ $m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C$ )(유리온실: 5.3, 비닐온실: 5.7)  
 $T_{in}$ : 설정 실내 기온 또는 목표 온도( $^\circ C$ )  
 $T_{out}$ : 최저 외기온( $^\circ C$ )  
 $f_r$ : 보온피복에 의한 열에너지 절감률

식(1)과 식(2)에서 산출된 각 중간 값을 이용하면 식 (3)의 에너지 소비량 식을 통하여 전체 에너지 소비량을 산출할 수 있다.

$$V_f = \frac{g_n}{H \cdot n} \quad (3)$$

$V_f$ : 연료의 소비량(L)  
 $g_n$ : 기간 난방 부하(kcal)  
 $H$ : 연료의 발열량(kcal/L)  
 $n$ : 난방시스템의 열 이용효율(온풍난방: 0.8, 온수난방기: 0.725)된 신재생 에너지원 공급량 및 필요 에너지량 예측을 나타낸 것이다.

### 2.4 농가별 적정 하이브리드 에너지 설계 시스템

2.1에서 산출된 총 에너지 산출량과 2.2에서 제안한 방법으로 도출된 생산 가능한 신재생 에너지 종류와 생산량 및 2.3에서 산출된 총 가능한 에너지 생산량과 예상되는 에너지 소비량이 결정이 되면 농가별로 적정한 하이브리드 에너지 시스템을 구성할 수 있다. 본 논문에서 개발한 농가별 적정 하이브리드 에너지 설계 시스템을 사용하면 건축가나 토목 전문가가 아

니더라도 일반인이 쉽게 각각의 에너지 시스템을 혼합하여 사용자가 설정한 신재생 에너지를 통한 에너지 절감량, 신재생에너지 이용율, 초기투자비, 유지관리비 및 투자비 회수기간 등의 우선순위에 따라 구성할 수 있다. 농가별 적정 하이브리드 에너지 설계 시스템은 다음과 같은 알고리즘을 가지고 있다.

① 신재생 에너지 시스템의 구성은 태양광, 풍력, 히트펌프 등에 대한 각 신재생 에너지 시스템 별 데이터베이스를 통해 사용자가 설치하고자 하는 시스템 정보를 선택 입력하고 설비 용량 및 대수에 대한 범위를 설정

② 산출된 부하 정보를 바탕으로 용량 및 범위 내에 설비시스템 설계안을 도출하고, 각각의 설계안 별로 초기투자비, 유지관리비, 투자회수기간 등 비용정보를 분석하여, 최적의 신재생 에너지 조합 방법을 추천

③ 해당 지역 농가의 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량 등의 미세지역 환경 데이터를 수집하여 분석 및 통계 처리한 후, 이 정보를 광역 단위의 정보와 상관관계를 도출

④ 최종적으로 분석된 에너지 효율성, 경제성 등을 종합적으로 판단하여 신재생에너지 시스템의 종류 및 적정 용량에 대한 최적화 된 구성안을 도출

### 2.5 망고농가에 적합한 에너지 맵 도출

2.1부터 2.4에서 산출된 정보를 이용하여 테스트베드에 적합한 에너지 맵을 산출할 수 있게 된다. 에너지 맵을 산출하게 되면 이 정보를 기반으로 적정한 하이브리드 에너지 시스템을 구성할 수 있게 된다. 표 1은 에너지 맵 산정을 위한 기본 정보이며, 표 2는 관련 기상자료, 냉난방 부하량 추정치를 결합하여 산출된 신재생 에너지원 공급량 및 필요 에너지량 예측을 나타낸 것이다.

표 1. 에너지맵 산정을 위한 기본정보  
Table 1. Basic information for calculating energy map

Item	Specification
Local	Jeju
Crops	Mango
Area	330m <sup>2</sup>
Green House Type	7-Monomaran-3
Dimension (W×H×L)	7×3.3×48 m
Heat exchange surface area	528 m <sup>2</sup>
Heat Reduction Rate	Plastic GreenHouse (Double Coated) 0.4
Heating Load Factor	5.7 kcal/m <sup>2</sup> ·°C·hr
Proper Temperature	20°C

표 2. 에너지 맵을 위한 데이터  
Table 2. Data for energy map

Month	MAX. Heat Load(kcal)	Photo voltaic (kcal)	Wind (kcal)	Demand Energy (kcal)
01	13,169,408	181,632	76,781	12,910,995
02	10,650,183	271,932	69,350	10,308,900
03	8,765,416	409,962	76,781	8,278,674
04	4,900,417	501,552	74,304	4,324,561
05	2,133,507	546,702	76,781	1,510,024
06	67,244	440,922	74,304	-447,982
07	-311,664	504,648	76,781	-893,093
08	-193,853	504,648	76,781	-775,282
09	-336,973	417,186	74,304	-828,463
10	1,824,702	460,530	76,781	1,287,391

11	6,065,187	325,080	74,304	5,665,803
12	10,790,463	218,784	76,781	10,494,899

표 2의 데이터를 기반으로 테스트 베드를 위한 에너지량을 유추하면 망고온실 100평을 기준으로 20°C를 유지하는 경우, 6월부터 9월까지의 신재생에너지원만을 이용해서 냉난방이 가능한 것으로 예상되었다.

### 2.6 스마트팜 시스템의 구축

2.5에서 도출된 에너지 맵을 이용하여 테스트베드에 온·습도 자동 측정기, CO<sub>2</sub>제어 시스템, 온·습도 및 CO<sub>2</sub> 자동개폐제어시스템, 급수펌프 및 냉난방 시설을 설치하였으며, 설치된 다양한 시설들은 그림 1에서 확인할 수 있다.



그림 1. 스마트팜에 설치된 다양한 시설들  
Fig. 1 Various equipment installed at smart farm

### III. 탄소량 배출을 위한 스마트팜 시스템의 성능 테스트를 위한 실험 및 결과

#### 3.1 실험조건

동일 지역 내 유사 규모의 두 농가를 선정하여 한 곳에는 태양광발전 및 히트펌프 시스템을 설치(실험 농가, S시 소재 600평 규모)하고 한쪽은 기존 난방 방법인 경유온풍기 가동으로(비교농가, S시 법환동 소재 615평)으로 겨울철 작기 내 일부 기간(10~11월)에서 실험을 실시하였다.

각 실험 대상 온실 내·외부 (사방벽면+중앙+외부)에 총 6점의 센서 유닛 (온도, 습도, CO2 측정)를 설치하여 데이터를 수집하였다. 전력량 및 유량을 측정하기 위하여 적산 전력계 및 유량계를 설치하여 측정하였다. 테스트베드는 신재생 에너지 시험 기간(2015.10~11월) 중 히트 펌프 실증 시험을 위한 기간(간헐적 시험, 데이터는 전 기간 기록)에는 전농가용 히트펌프는 가동하지 않았으며, 실험이 실시된 10~11월의 평균 기온이 높아 오히려 낮 시간 때에는 배풍기를 이용하여 온실온도를 낮추는 운전을 실시하였다.

#### 3.2 실험결과의 분석

실험 기간이 매우 짧아 제한적인 데이터를 획득할 수 있었고 시험기간 중 사용된 경유온풍기의 누적경유사용량 (75.75ℓ)과 히트펌프의 누적전력사용량 (254.9kW)을 단순 비교 할 경우 동일기간 내에 사용된 난방비용(면세경유1,000원/ℓ, 농용전기 38원/kW)은 각각 75,750원과 9,344원으로 제습난방기의 운전비용이 87.66% 저렴한 것으로 분석되었다. 또한 실험 기간 중 발전 된 태양광 누적 발전량은 총 401,602.5W (10월 288,142.2W, 11월 113,460.3W)로 동일기간 중 사용한 히트펌프의 누적 전력사용량의 157%를 상회하는 것으로 나타났으나, 본격적인 동절기가 시작되지 않은 10~11월의 사용 기록에 한정된 것이기 때문에 동절기를 비롯하여 추후 1~2년간의 누적 데이터를 추가적으로 분석함으로써 연구시설의 경제성 및 유효성에 대한 검증된 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 표 3은 스마트 팜을 이용한 테스트 베드에서의 측정 결과와 본 논문에서 개발한 시스템에서 제안한 예측 결과 및 비교 대상 농가의 실험 결과를 분석한 내용이다.

표 3. 실험 결과  
Table 3. Experiment result

Category	Compare	Simulation	Test bed
Installation Costs (X 1000 Won)	7,000	40,000	40,000
Useful Life	Heater: 6 Y	PhotoVoltaic : 20 Y Heat Pump : 12 Y	PhotoVoltaic : 20년 HeatPump : 12년
Fixed Costs (X 1,000 Won) per Year	1,667	2,833	2,833
Diesel Consumption (L)	75.75	0	0
Power Consumption (kW)	0	2,621	254.9
Power Generation (kW)	-	913.5	401.6
Heating Costs (Won/2Months)	75,750	64,885	0
Use Costs (Won/Day)	5,830	8,842	7,761
Electricity Sales (Won/Day)	-	6,090	2,677
Costs for Electricity Sales(Won/Day)	5,830	2,752	5,084

테스트 베드 및 비교대상 농가를 대상으로 실험 한 결과를 본 논문에서 개발한 시스템에서 산정한 시물레이션 데이터와 비교한 결과, 시물레이션 데이터는 최대난방부하가 2,621kW가 산출되었으나, 실제 테스트 베드에서는 254.9kW로 측정되어 약 10배 가까이 결과가 차이가 났다. 이는 2015년 10월과 11월의 제주도의 날씨가 평년 날씨보다 높은 따뜻한 기온을 유지하였기 때문이었고, 시물레이션에서는 생육온도관리를 20℃로 고정시켜 산출하였기 때문이다. 또한 테스트베드는 변온관리를 통하여 밤의 기온은 최저생육한계인 7℃로 관리하였으며, 생육상태가 개화기가 아니어서 높은 기온을 필요로 하지 않기 때문인 것으로 판단되었다.

발전량의 결과에서도 시물레이션에서는 913.5kW로 나타났으나, 테스트베드는 401.6kW로 시물레이션과 비교해 44% 정도로 발전효율이 낮은 것으로 나타나

고 있다. 이는 여러 가지 요인들이 있지만 기후조건이 제주지역 내에서도 각 지역별로 국부적인 미세기상이 다르다는 것을 알 수 있었고, 좀 더 정확한 미세기상을 측정하여 발전량 예측에 사용되어야 할 것으로 판단된다. 대조 지역과 테스트베드의 실험 결과를 비교한 결과, 에너지 측면에서는 실증시험구가 난방비용이 일일 1,263원이 절감되었으나, 고정비와 합한 이용비용은 대조구가 5,830원, 시뮬레이션구가 8,842원, 실증시험구가 7,761원으로 대조 지역의 온풍구가 저렴한 것으로 나타나고 있다. 그러나 생산된 전기를 매전을 할 경우에는 잉여전력을 되팔 수가 있기 때문에 매전에 따른 이용비용은 테스트베드가 5,084원으로서 하루에 약 746원의 이익을 볼 수 있는 것으로 나오고 있다. 그렇지만, 본 논문에서 제안한 스마트팜 시스템을 설치하면 에너지 사용 및 탄소 배출 측면에서는 절감되는 효과가 있지만, 시설비를 포함하면 경제성이 나쁜 것으로 분석되고 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 탄소 배출을 최소화하기 위하여 국내 환경에 적합한 하이브리드 에너지 추천 시스템을 포함한 스마트 팜 시스템을 설계 및 개발하여 S의 망고 농가를 대상으로 실증을 하였다. 이 실험 결과를 분석하면, 본 시스템을 도입하는 경우에는 13%의 탄소 배출 감소 효과를 가질 수 있으나, 이에 대한 초기 설치비가 많이 소요되기 때문에 기존 시스템에 비하여 경제성을 가지기 어려운 것으로 판단된다. 스마트 팜을 좀 더 많이 보급하기 위해서는 정부 차원의 활성화 대책이 필요한 것으로 판단된다.

#### References

- [1] K. Jeong and W. Kim, "The Implementation of Smart Raising Environment Management System based on Sensor Network and 3G Telecommunication," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 4, 2011, pp. 595-601.
- [2] Y. Lee, "Implementation of Greenhouse Environment Monitoring System based on

Wireless Sensor Networks," *J. of The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 11, 2013, pp. 2686-2692.

- [3] K. Kim, K. Park, J. Kim, M. Jang, and E. Kim, "Establishment of Web-based Remote Monitoring System for Greenhouse Environment," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 1, 2011, pp. 77-83.
- [4] F. Culibrina and E. Dadios, "Smart Farm Using Wireless Sensor Network for Data Acquisition and Power Control Distribution," *In Proc. IEEE Intl. Conf. Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environmental and Management (HNICEM)*, Cebu, Philippine, Dec. 2015, pp. 1-6.
- [5] C. Dwarkani, G. Ram, S. Jagannathan, and R. Priyatharshini, "Smart Farming System Using Sensors for Agricultural Task Automation," *In Proc. IEEE Intl. Conf. on Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)*, Chennai, India, July 2015, pp. 49-53.
- [6] E. Apostol, C. Leordeanu, M. Mocanu, and V. Cristea, "Towards a Hybrid Local-Cloud Framework for Smart Farms," *Intl. Conf. on Control Systems and Computer Science(CSCS)*, Bucharest, Romania, Sep., 2015, pp. 820-824.

#### 저자 소개

##### 유남현(Nam-Hyun Yoo)



1999년 순천대학교 컴퓨터과학과 졸업(이학사)

2001년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(이학석사)

2007년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(이학박사)

2008년~2010년 오클라호마대학교 방문교수

2010년~2011년 (주)엘시스 신기술개발팀장

2011년~2013년 경남대학교 KOSTEC 책임연구원

2013년~현재 경남대학교 조선해양IT공학과 조교수

※ 관심분야 : 인공지능, 해양로봇, 협업지능, 상황인식, 자동제어